الوحدة السادسة

الصـــوت

The Sound

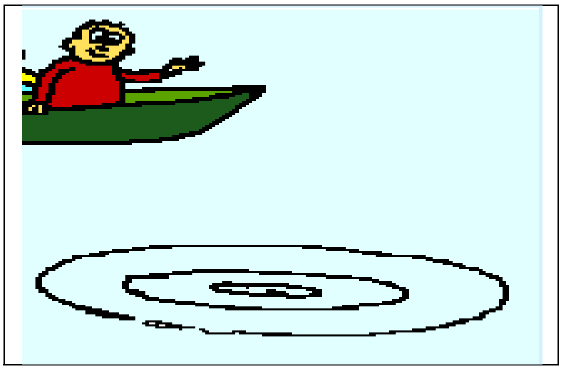
(٦- ١) الموجات الطولية والموجات المستعرضة :

(٦- ١- ١) مقدمة عن الحركة الموجية :

تصدر الموجات من جميع الأجسام المهتزة، فالموجات التي تصدر نتيجة لاهتزاز أوتار مدودة تُنتج نغمات تصل إلينا خلال الهواء. وهناك مصادر كثيرة أخرى للأصوات كآلة البوق مثلاً حيث إن الموجات تنشأ نتيجة لاهتزاز شفتي مستخدمه عند فم الآله ولكن كلاً من هذه المصادر يتكون أساساً من جسم مهتز يقوم بتوليد الموجات في الهواء.

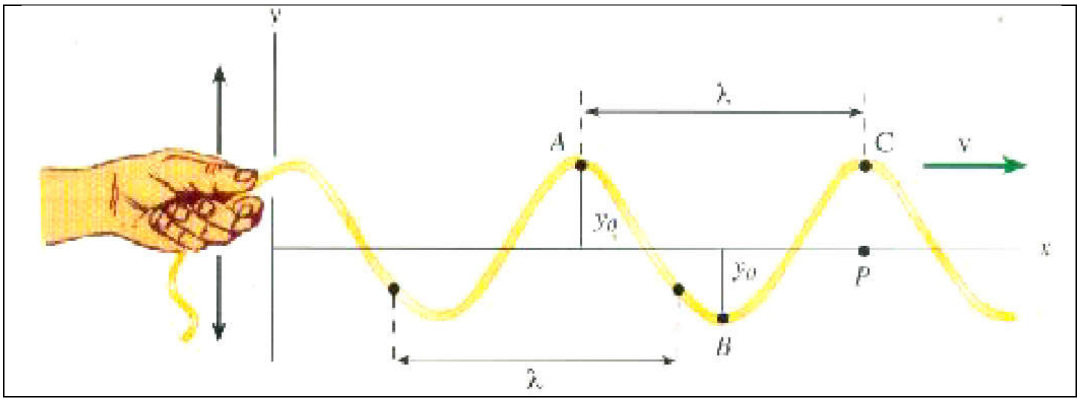
أن كل مانراه ونسمعه عند مشاهدة التلفزيون هو عبارة عن موجات تصل إلينا من محطة الإرسال ،وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تتولّد في المحطة نتيجة لاهتزاز الشحنات الكهربائية في الهوائي،وتنتقل هذه الموجات في الهواء لتصل إلى جهاز التلفزيون الذي يستقبلها ثم يحولها الى موجات ضوئية وصوتية.

ومن الأمثلة على الحركة الموجية وتكوين الموجات عندما يسبب شيء اضطراباً في وسط ما سقوط حجر صغير على بحيرة ساكنة. فإذا سقطت حجر صغير مثلاً على بحيرة ساكنة فإنها تسبب حدوث موجات متحركة،وتسمى الحجرة في هذه الحالة مصدر الموجات .كما بالشكل (٦- ١).



الشكل(٦- ١) تكوّن الموجات من رمي حجر في بركة ماء

ويقصد بالموجة الاضطراب الذي ينتقل في اتجاه معين وبسرعة معينة ولا يستلزم ذلك انتقال جزيئات الوسط الذي تسري فيه الموجة،بل إن الجزيئات تتحرك حركة اهتزازية دورية حول مواضع استقرارها . أي تتحرك حركة توافقية بسيطه يمكن تمثيلها بيانياً بالمنحنى الجيبي.



الشكل(٦- ٢) الشكل العام للحركة الموجية

التجربة (٦- ١):

س: هل الموجات تحمل الطاقة أم المادة ؟ وضح ذلك

ج: الموجات تحمل الطاقة من مكان الى آخر وليس المادة . ويمكن إثبات ذلك بتجربة بسيطة،فإذا جعلنا متدربين يُمسك كلاً منهما بطرف حبل،ثم قام أحدهما بتحريك الطرف الذي يمسك به إلى أعلى ثم إلى أسفل بشده،فإن الطاقه تمر من جزء من الحبل إلى الجزء التالي كموجه ويصبح كل جزء من الحبل في حالة حركه مع مرور الموجه،ولكن الحبل نفسه لا يتحرك الى الأمام مع الموجه. وسوف يشعر المتدرب الذي يمسك بالطرف الآخر بالطاقه التي تنقلها الموجه والتي تحاول تحريك يده.

<u>تعريف الموجه</u> : هي اضطراب لحظي ينتقل في الوسط المحيط بمصدر الاضطراب في اتجاه معين وبسرعة معينه ويقوم بنقل الطاقه في إتجاه إنتشاره.

(٦- ١- ٢) أنواع الحركة الموجيه :

١- الحركة الموجيه الميكانيكية (Mechanical Waves):

هي الحركة الموجيه التي يلزمها وسط مادي (هواء،وماء،وحبل) يحمل الاهتزاز. وتنشأ عن مصدر مهتز أو متذبذب وتصنف إلى :

أ- موجات مستعرضة Transverse Wave

ب- موجات طوليه Longitudinal Waves

جـ- موجات سطحيه Surface Waves

٢- الحركة الموجية الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Waves):

هي الحركة التي لاتحتاج الى وسط مادي لكي تنتشر بل يمكنها الانتشار في الفراغ، وتنشأمن اهتزاز مجالات كهرومغناطيسية.

ومن أمثلتها (موجات الراديو، والضوء، وأشعةجاما)

٣- الحركة الموجيه المادية (Matter Waves):

هـي الموجـات المصـاحبة لحركـة الجسـيمات الماديـة (الإلكترونـات) .ويطلـق عليهـا (أمـواج دي برولي) .

سوف نتطرق في هذه الوحده بتفصيل أكثر شموليه عن الحركة الموجيه الميكانيكية بصنفيها (الموجات المستعرضة، والموجات الطولية).

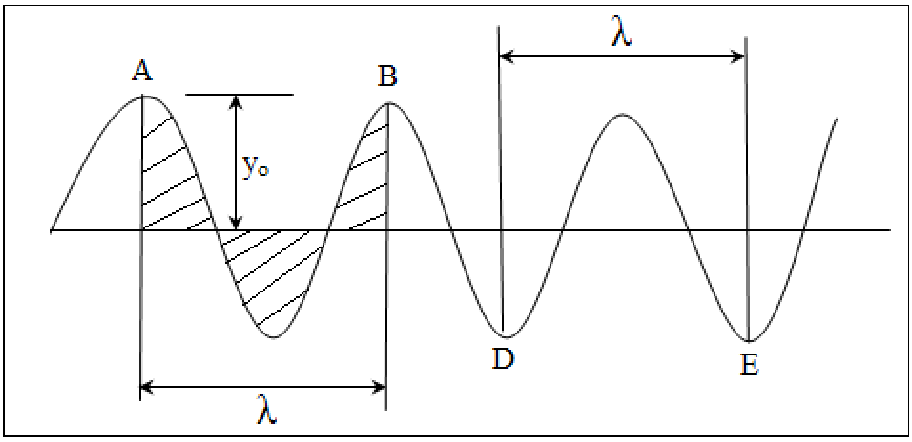
(٦- ١- ٣) الموجات المستعرضة:

الموجات المستعرضة هي الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها في اتجاه عمودي على إتجاه إنتشار الموجة وتتكون من قمم وقيعان.

لنفرض أن سرعة الموجات التي يتحرك بها الاضطراب على الوتر هي (v) لاتعتمد على الاتساع أو التردد، ولكنهاتعتمد فقط على صلابة شد الوتر وكثافة (أي كتلة وحدة الحجم) الوسط أو الوتر، فعلى سبيل المثال تكون للحبل المشدود سرعة موجات أعلى من تلك التي تنتج عبر حبل مرتخ، وتكون سرعة انتقال الموجات عبر حبل خفيف قليل الكثافة، له درجة شد معينه، أعلى من سرعة انتقالها عبر حبل ثقيل له نفس درجة الشد.

فإننا نقوم بزيادة تردد الموجات أيضاً بتقصير المسافة بين قمتين أو قاعين وتسمى هذه المسافة بالطول الموجي .

والشكل (٦- ٣) يبين الكميات الفيزيائية المستخدمة في وصف الموجات .



الشكل(٦- ٣) الشكل الموجة الجيبية واستنتاج الكميات الفيزيائية

من الشكل تسمى النقطتان A و B على الموجة "قمتان"،وتسمى النقطتان D و E "قاعان" . وهو نفس الجزء من الموجة الذي تولّده دورة كاملة واحدة من المصدر المهتز،أي المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين،وتسمى المسافة الأفقية بين أي قمتين أو قاعين متتالين بالطول الموجي (λ) وسعة الموجة في الشكل هي (y_0).

هناك علاقة هامة بين الطول الموجي (λ) وسرعة الموجة (v) والتردد (f) لأي موجه حيث تنطبق على جميع أشكال الموجات .

من معادلة الحركة:

$$x = v \cdot t$$

يمكن تحولها إلى الصورة:

$$\lambda = v \cdot \tau$$

حيث τ : الزمن الدوري للاهتزاز.

وبما أن الزمن الدوري للاهتزاز يعطى بالعلاقة :

$$\tau = \frac{1}{f}$$

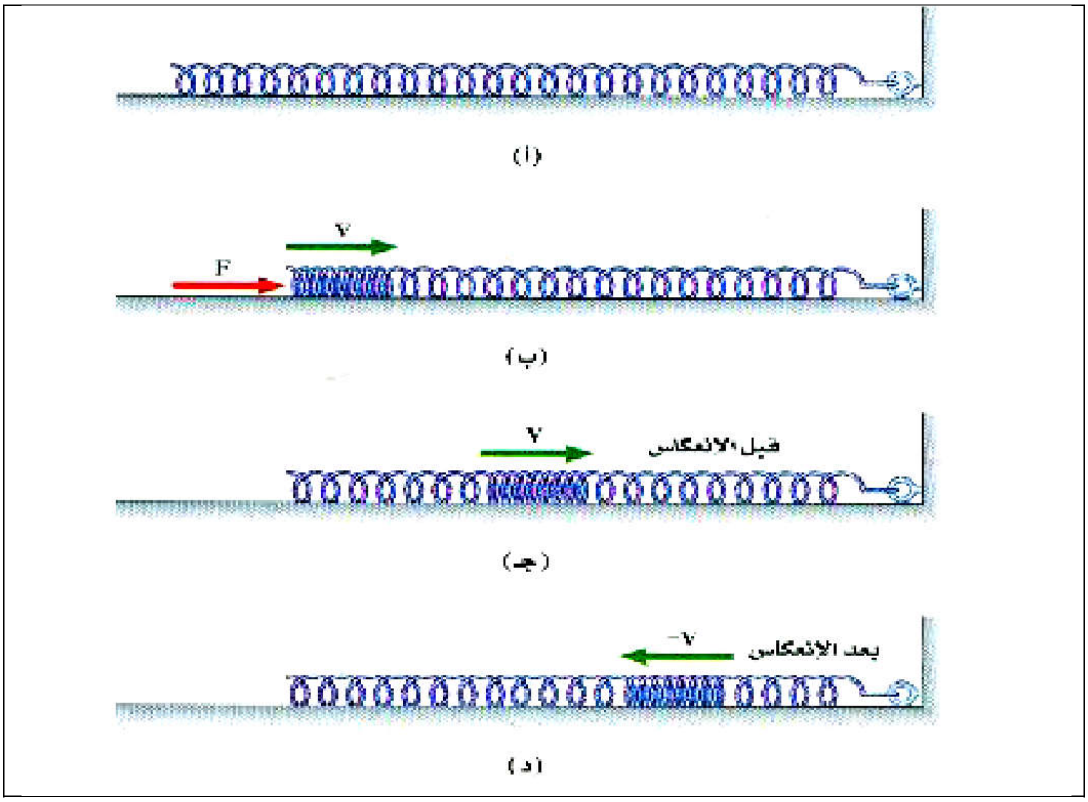
نجد أن :

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad (6-1)$$

(٦- ١- ٤) الموجات الطولية :

الموجات الطولية هي الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها في اتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الحركة الموجية وتتكون من تضاغطات وتخلخلات.

ولتوضيح ذلك نقوم بإجراء تجربة هامه باستخدام زنبرك طويل موضوع على سطح منضده ملساء ومثبت من أحد طرفيه (يوضح الشكل ٦- ٤أ) الزنبرك في حالة اتزان. وإذا ضغطنا الزنبرك فجأة كما في الشكل (٦- ٤ب) فإن الحلقات القريبة للطرف الذي سُلطت عليه القوة الضاغطة سوف تنضغط قبل أن يتعرض باقي الزنبرك إلى الاضطراب.

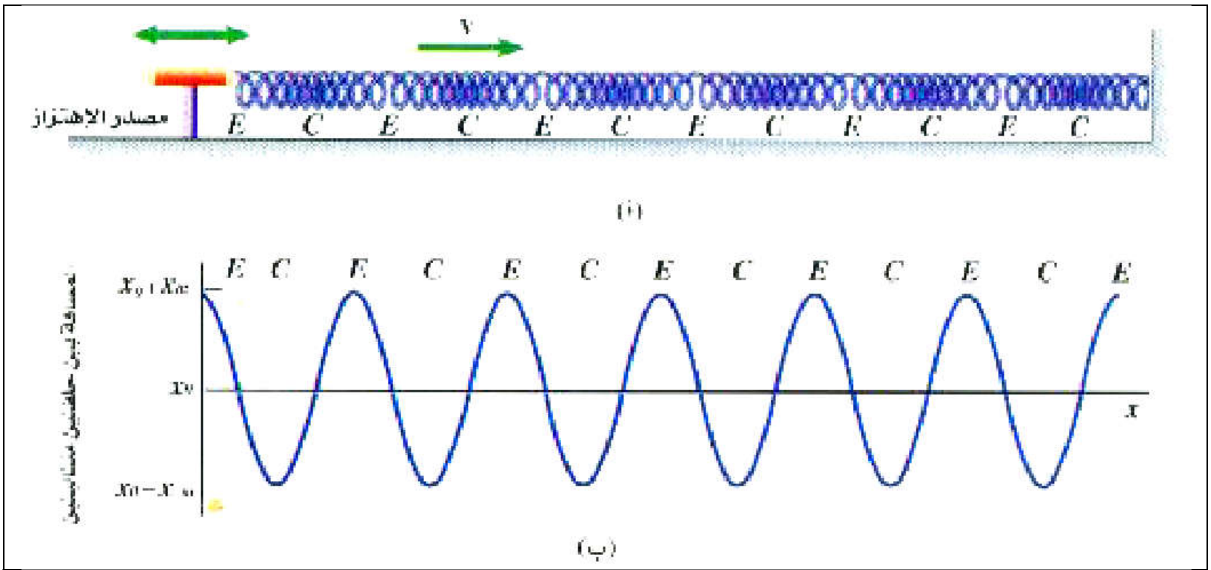


الشكل (٦- ٤) موجة طولية تتحرك بطول الزنبرك ثم تنعكس عند الطرف الثابت

وعندئذٍ سوف تؤثر الحلقات المنضغطة بقوة معينة على الحلقات التي تقع على يمينها،وعليه فإن الانضغاط سوف يتحرك في الزنبرك كما في الشكل . وعندما يصل الانضغاط إلى الطرف الثابت فإنه سوف ينعكس ويتحرك إلى اليسار كما في الشكل (٦- ٤د).

وبهذا يتضح لنا أن هذه الموجة طولية لأن جزيئات الزنبرك تهتز ذهاباً وإياباً في اتجاه الزنبرك،أي في اتجاه انتشار الموجة.

ولتوليد موجة طولية مستمرة نقوم بتوصيل الطرف الحر للزنبرك بمصدر مهتز يقوم بدفع هذا الطرف وشده بالتناوب بتردد (f) كما في الشكل (٦- ٥أ) .



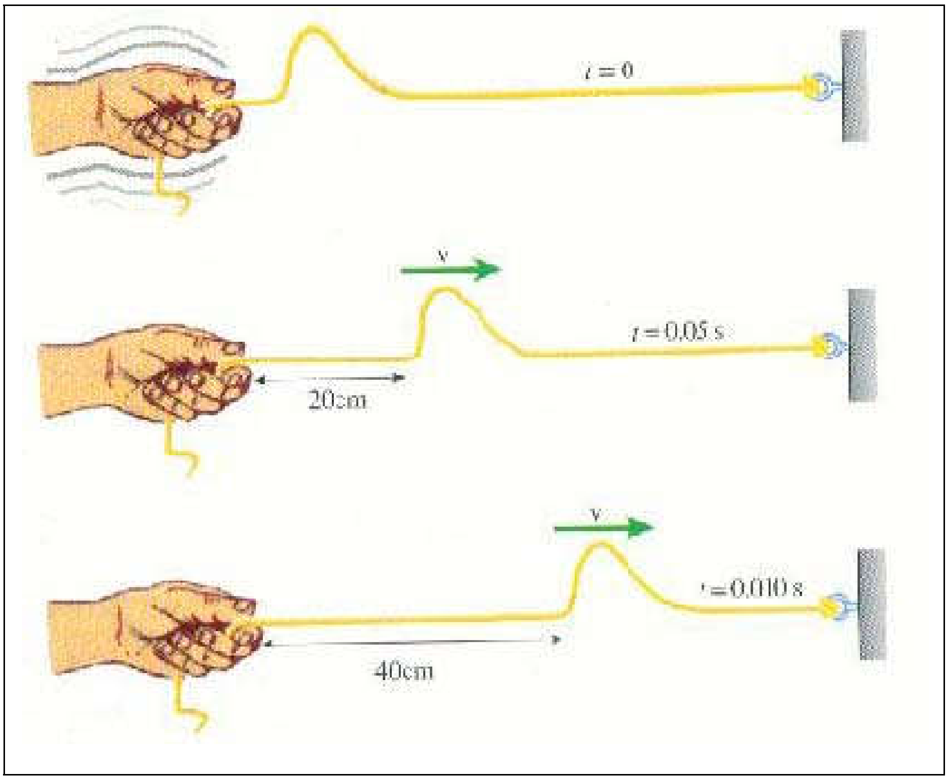
الشكل (٦- ٥) تأثير مصدر مهتز على زنبرك وتوليد موجه طولية مستمرة

ولتمثيل المسافة بين الحلقات المتجاوره على الزنبرك نجدها في الشكل (٦- ٥ب) حيث ان التغير في التضاغطات والتخلخلات يتبع منحنى جيبياً.

(٦- ٢) اهتزاز الأسلاك وطبيعة تكوّن الموجات الصوتية :

إن الأجسام المهتزة تعمل كمصادر للموجات ،فموجات الصوت يمكن أن تصدر من شوكة رنانة مهتزة أو سلك مهتز .

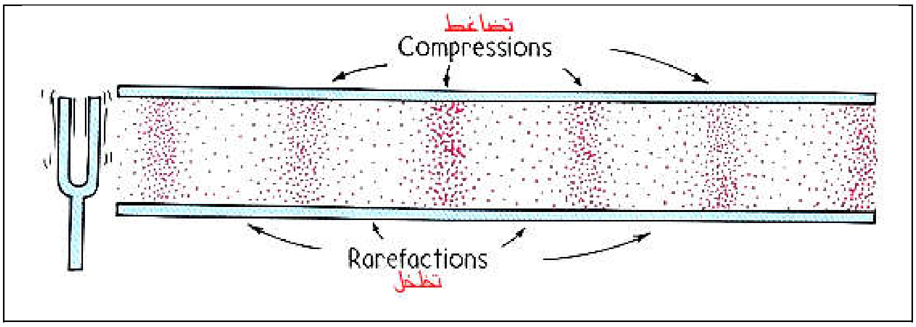
ولدراسة الموجة على سلك مشدود وفهم طبيعة تكّون الموجات الصوتية،نقوم بإرسال اضطراب معين ليتحرك على السلك وذلك بحركة فجائية لليد إلى أعلى ثم إلى أسفل بسرعة كبيرة كما بالشكل (٦- ٦) وعندئذٍ سوف يتحرك هذا الاضطراب على الوتر بسرعه (v).



الشكل (٦- ٦) النبضة تحمل معها الطاقة أثناء حركتها على السلك

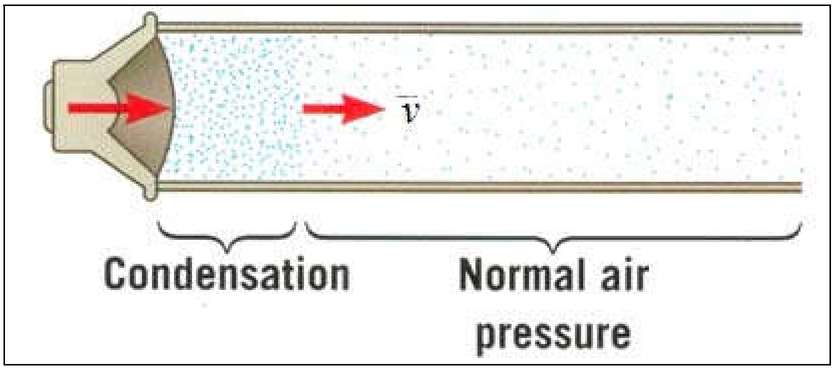
إذاً يمكن القول ان الموجات الصوتية هي نوع من الموجات الميكانيكية وهي التي تحتاج لوسط مادي لانتشارها حيث تُصنف على أنها موجات طولية أي أنها من تضاغطات وتخلخلات متتابعة.

والشكل (٦- ٧) يبين حركة الموجات الصوتية الصادرة من شوكة رنانة داخل أنبوب وحركة الجزيئات داخل الأنبوب ،مما أدى الى تكوّن تضاغطات وتخلخلات للجزيئات.



الشكل (٦- ٧) تأثير الشوكة الرنانة على الجزيئات داخل الأنبوبة

والشكل (٦- ٨) يبين صدور صوت من سماعه داخل أنبوبة فتؤدي إلى تكوّن تخلخلات وتضاغطات لجزيئات الهواء فتصل إلى طبلة الأُذن وتؤدي إلى تحريكها ومن ثم تقوم الأُذن بتمييز الصوت بناءً على تلك الموجات الصوتية.



شكل (٦- ٨) تأثير صوت السماعة على جزيئات الهواء

(٦- ٣) سرعة الصوت،والتردد،والطول الموجي :

هناك مفاهيم أساسية لدراسة الصوت وهي :

١- **سرعة الصوت (v):** وهي السرعة التي يتحرك بها الصوت في الفضاء حيث يتحرك الصوت في الجو بسرعة (331 m/sec) عند درجة الصفر المئوية ($T= 0^o$).

وتعتمد سرعة الصوت على عاملين مهمين هما "الانضغاطية"و"طبيعة الوسط".

تعطى سرعة الموجة على السلك بعلاقة بسيطة،فإذا كان (T) هو الشد في السلك وكانت (m) كتلة جزء من السلك طوله (L) فإن سرعة الموجة على السلك تعطى بالعلاقة :

$$v = \sqrt{\frac{T}{m/L}} \qquad (6-2)$$

مثال (٦- ١) :

سلك كتلته ($2\ gm$) وطوله ($60\ cm$)، ماالشد اللازم للسلك لكي تكون سرعة الموجة عليه $300\ m/sec$ ؟

الحل :

من المعطيات :

$$m = 2gm = 2 \times 10^{-3}\ kg$$
$$L = 60\ cm = 60 \times 10^{-2}\ m$$
$$v = 300\ \ m/sec$$

وبالتعويض في القانون :

$$v = \sqrt{\frac{T}{m/L}}$$

$$(300\ m/sec) = \sqrt{\frac{T}{\left(\frac{2\times10^{-3}\ kg}{60\times10^{-2}\ m}\right)}}$$

$$(300)^2 = \frac{T}{3.33\times10^{-3}}$$

$$T = (300)^2(3.33\times10^{-3})$$

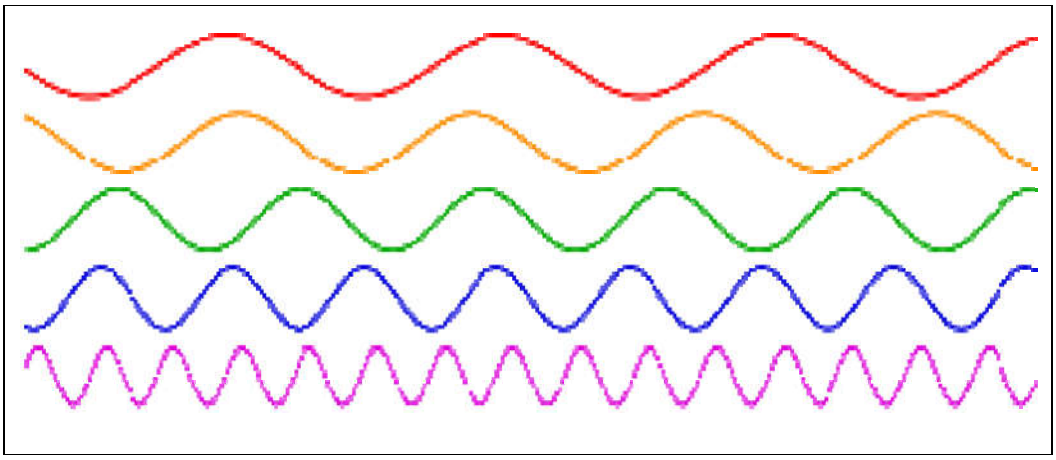
$$T = 300\ \ N$$

٢- **التردد (f)** : هو عدد الموجات التي تمر بنقطة معينة في مسار الحركة الموجية في زمن قدره واحدة ثانية .

وتقاس وحدة التردد بالهرتز (Hz) والتي تعادل ($1/sec$) حيث :

حيث τ : الزمن الدوري وهو الذي يستغرقه الجسم المهتز في عمل اهتزازة كاملة.

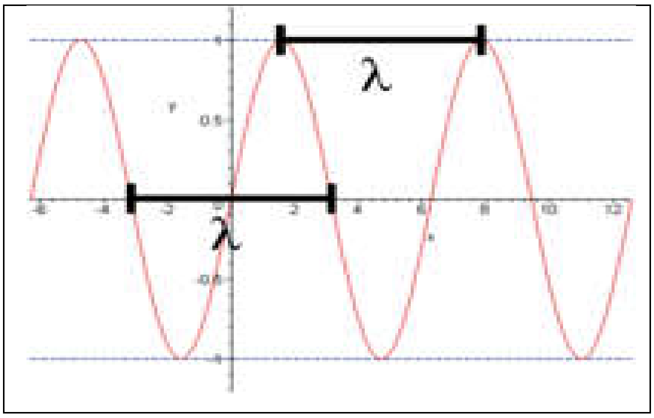
والشكل (٦- ٩) يبين أنواعاً لموجات جيبية بترددات مختلفة حيث تردد الموجة العلوية أقل من تردد الموجة التي أسفل منها وهكذا لجميع الموجات في الشكل.



الشكل (٦- ٩) أمواج جيبية ذات ترددات مختلفة.

٣- **الطول الموجي** (λ) : هو المسافة بين مركزي تضاغط متتاليين أو مركزي تخلخل متتاليين في اتجاه انتشار الموجة لهما نفس الطور (أي لهما نفس الإزاحة ونفس الاتجاه).

وتقاس وحدة الطول الموجي بوحدة المتر (m). ويبين الشكل (٦- ١٠) الطول الموجي لدالة جيبية.



الشـكل (٦- ١٠) الطول الموجي لموجه جيبية.

هناك علاقة تربط المفاهيم الأساسية السابقة وتم التطرق إليها في شرح الحركة الموجية والتي تكتب بالصيغة :

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad (6-4)$$

حيث : v : سرعة الصوت في الوسط الناقل (m/sec).

τ : الزمن الدوري اللازم لإتمام دورة كاملة (sec).

وهذه العلاقة هامة جداً وصحيحة لجميع الموجات.

المثال (٦- ٢) :

إذا كان أحد أزرار البيانو يُصدر صوت تردده ($4185.65\ Hz$) وكانت سرعة الصوت في الهواء ($341\ m/sec$)، أوجدالطول الموجي لهذا الصوت ؟

الحل :

المعطيات :

$f = 4185.65\ \text{Hz}$

$v = 341\ \text{m/sec}$

من القانون :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{341\ m/sec}{4185.65\ Hz}$$

$$\lambda = 0.0815\ m$$

$$\lambda = 8.15\ cm$$

مثال (٦- ٣) :

وحدة السونار تُرسل موجات صوتية إلى أعماق البحر فإذا رجعت الموجة الصوتية بعد ($1.3\ sec$) ، ما عمق البحر إذا كانت سرعة الصوت في الماء ($1493\ \ m/sec$) ؟

الحل :

إذا كان الزمن المعطى هو زمن ذهاب وعودة الموجة الصوتية فإن زمن الذهاب فقط هو :

$$\tau = \frac{1.3}{2} = 0.65\ \ sec$$

$$v = 1493 \quad m/sec$$

نطبق القانون :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

وحيث أن :

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0.65\ sec} = 1.53\ \ Hz$$

إذاً :

$$\lambda = \frac{1493}{1.53}$$

$$\lambda = 975.8\ \ m$$

(٦- ٤) انتقال الصوت في الأوساط المختلفة :

لقد ذكرنا سابقاً أن سرعة الصوت تعتمد على عاملين هما :

١- **الانضغاطية** : وهي إحدى خصائص الوسط الناقل حيث تتوقف على التغيرات في الضغط وعلاقتة . وهو مايعرف بمعامل التمدد الحجمي (B).

٢- **طبيعة الوسط** : وهي كثافة الوسط ،فالموادالأكثر والأعلى كثافة تنقل الصوت بشكل أسرع ،ويرمزلكثافة الوسط بالرمز (ρ).

ويمكن تعيين سرعة الصوت في أي وسط من الأوساط باستخدام الصيغة الرياضية :

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \qquad (6-5)$$

ويعرف معامل الحجم (B) بأنه :

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V / V} \qquad (6-6)$$

حيث V : هي حجم الوسط.

ΔV : التغير في الحجم.

وتعطى سرعة انتشار الموجات الصوتية في الأوساط المختلفة على النحو التالي :

أ- في حالة المواد الصلبة

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \qquad (6-7)$$

حيث Y : معامل يونج وهو معامل المرونة الطولي ويقتصر على المواد الصلبة فقط.

ويعطى معامل يونج من المعادلة :

$$Y = \frac{F / A_o}{\Delta L / L_o}$$

$$Y = \frac{F L_o}{A_o \Delta L} \qquad (6-8)$$

حيث F : مقدار القوة العمودية المؤثرة على السلك.

A_o : مساحة مقطع السلك.

L_o : طول السلك الأصلي (الابتدائي).

ΔL : مقدار التغير في الطول بعد تأثير القوة.

وتقاس وحدة معامل يونج (نيوتن/متر مربع)

$$1Y = (1\ N/m^2)$$

ب- في حالة الغازات :

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}} \qquad (6-9)$$

حيث γ : الثابت الكظمي ويعرف بالعلاقة :

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \qquad (6-10)$$

حيث C_P : السعة الحرارية عند ثبات الضغط.

C_V : السعة الحرارية عند ثبات الحجم.

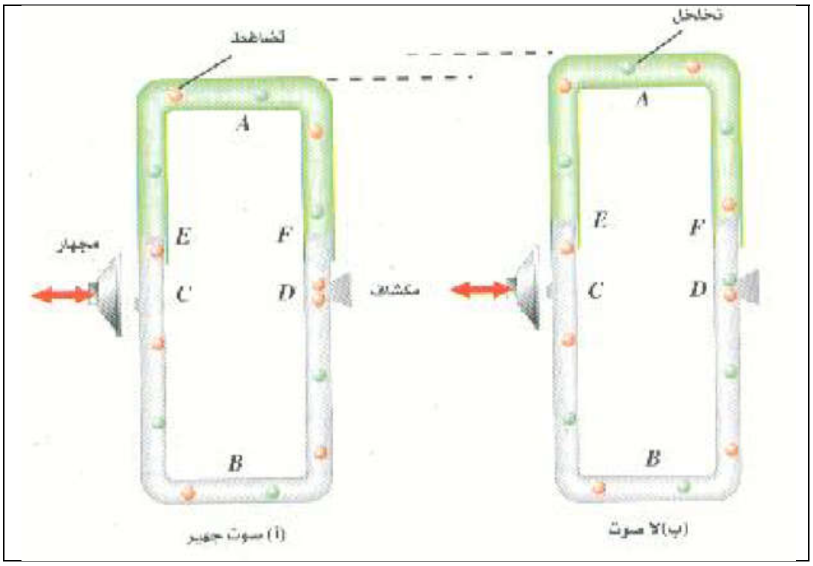
والجدول (٦- ١) يبيّن سرعة الصوت في بعض الأوساط المختلفة.

الوسط	درجة الحرارة	السرعة v (m/sec)
الهواء	(0^o)	331
الهواء	(20^o)	343
الهيدروجين	(0^o)	1286
الأُكسجين	(0^o)	317
الهيليوم	(0^o)	972
الماء	--	1493
مياه البحر	--	1533
الألمنيوم	--	5100
النحاس	--	3560
الحديد	--	5130
الرصاص	--	1322
المطاط	--	54

الجدول (٦- ١) سرعة الصوت في الأوساط المختلفة.

(٦- ٥) تداخل الموجات الصوتية ـ الموجات الموقوفة :

لنفرض أن لدينا نظاماً أنبوبياً كما بالشكل (٦- ١١) وأن موجة جيبية وحيدة التردد قد أُرسلت داخل الأنبوبة من الجانب الأيسر باستخدام مجهار عالي الجودة. عندئذ سينقسم الصوت إلى جزأين بحيث تمر نصف الشدة خلال الجزء العلوي ويمر النصف المتبقي خلال الأنبوبةالسفلية،وبذلك كل أنبوبة تحمل نصف كمية الصوت حيث إن الصوت عباره عن حركة موجية تتكون من تضاغطات وتخلخلات،وعند المخرج في الجانب الأيمن D تتحد الموجتان وتتضح باستخدام مكشاف صوتي،ويمكن أن يكون الصوت قوياً كما أتى من المدخل أو ضعيفاً حسب وضع الأنبوبة (EAF)،فإذا رفعنا هذه الأنبوبة إلى أعلى ببطء شديد سنلاحظ أن شدة الصوت عند D تزداد ثم تقل بطريقة تبادلية وهذا مايسمى بالتداخل.



الشكل (٦- ١١) تجربة تداخل الصوت باستخدام نظام أنبوبي

تعريف التداخل :

هو ظاهرة موجية تنشأ من تراكب موجتين صوتيتين أو أكثر متساويتين في التردد والسعة ينتج عنها تقوية للصوت في مواضع تسمى (تداخل بناء) وضعف أو انعدام في الشدة في مواضع تسمى (تداخل هدام).

شروط حدوث التداخل :

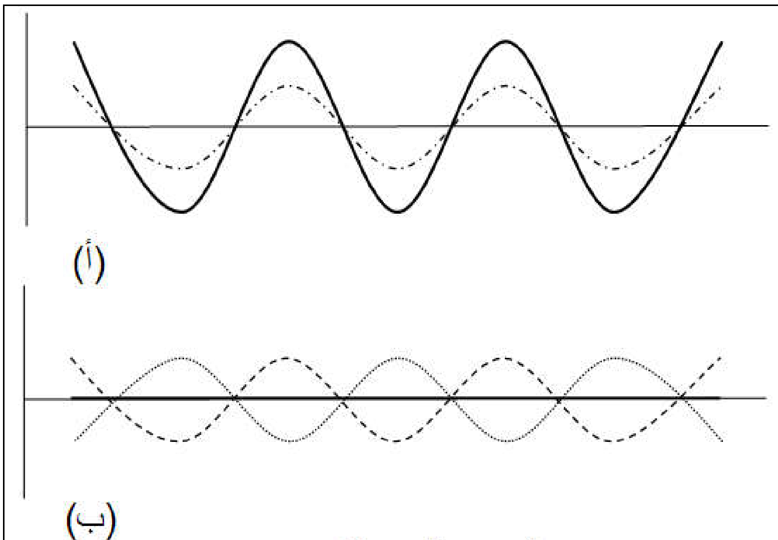
١- أن يكون للموجتين نفس التردد والسعة.

٢- أن يكون خط انتشار الموجتين واحداً أو بينهما زاوية صغيرة جداً.

التداخل البنّاء :

يحدث عندما يتقابل تضاغط من المصدر الأول مع تضاغط من المصدر الثاني أو تخلخل مع تخلخل.

والشكل (٦- ١٢ أ) يبيّن الشكل الموجة في التجربة السابقة عندما تكون سعة الموجة A الخارجة من D في نفس الوقت مع سعة الموجة B عند نفس المخرج وبذلك يتكوّن لدينا تداخل بنّاء، عندما يكون طول الأنبوب L_A مساوياً لطول الأنبوب L_B .



الشكل (٦- ١٢) أ- التداخل البناء . ب- التداخل الهدام.

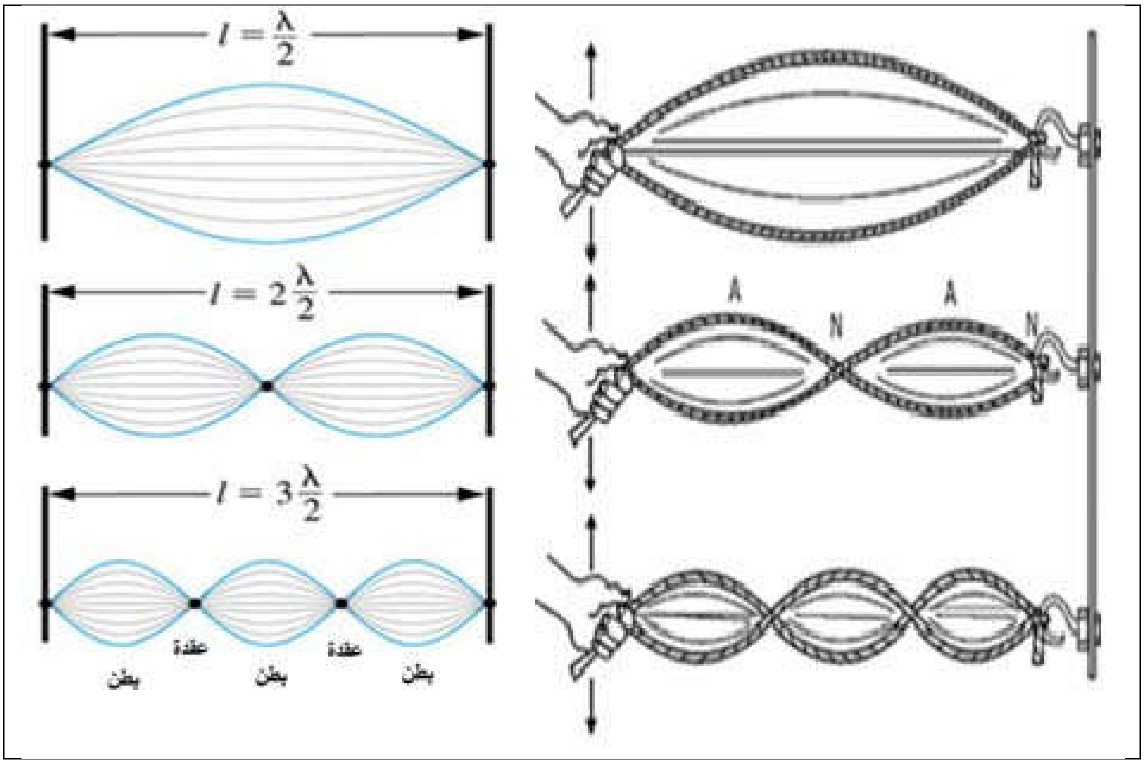
التدخل الهدام :

يحدث عندما يتقابل تضاغط من المصدر A مع تخلخل من المصدر B وذلك بسبب التغيير في طول الأنبوبة L_A .

الموجات الموقوفة :

للحديث عن الموجات الموقوفة يجب التطرق إلى إنعكاس الموجة عند إصطدامها بحائط ويتضح ذلك عندما نقوم بربط سلك على حائط ونقوم بعمل موجة نلاحظ طاقة الموجة المتحركة نحو الحائط سوف ترتطم فيمتص جزءاً صغيراً من الطاقة بينما الجزء الأكبر ينعكس.

وللتبسيط سوف نفترض عدم فقدان أي طاقة عند الانعكاس،فإذا قمنا بعمل حركة ثابتة لصنع موجة من الطرف الحر نلاحظ تصادم موجتين المنعكسة من الحائط والقادمة من المصدر فيظهر لنا تداخلان بحيث تنعدم الحركة في نقطة معينة على السلك طول الوقت وتسمى بالعقدة،بينما تظهر لنا بين كل عقدتين متتاليتين بطن الموجة وهي القيمة العظمى لذروة الموجة كما في الشكل (٦- ١٣).



الشكل (٦- ١٣) تكوّن العقد والبطون للموجات .

إذاً نجد أن المسافة بين بطنين متجاورين أو عقدتين متجاورتين هي $(\lambda/_2)$ باعتبار أن المسافة بينهما هي نصف الطول الموجي للموجة .

ولو عدنا للشكل (٦- ١٣) مرة أخرى نجد أن الحركة بسرعة منتظمة تكون موجة موقوفة تسمى النمط الاهتزازي الأول أو الرئيسي وتتكون من نصف موجة، وإذا قمت بزيادة سرعة الحركة يمكن أن تنتقل الى النمط الاهتزازي الثاني حيث تتكون من موجة كاملة في الاتجاهين وهكذا .

ويحدث الرنين عندما :

حيث $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots$

L : طول السلك .

مثال (٦- ٤) :

سلك طوله $(6\ m)$ وسرعة الموجات عليه $(24\ m/sec)$ ما الترددات التي يحدث عندها الرنين ؟

الحل :

المعطيات $L = 6\ m$ $v = 24\ m/sec$

من القانون :

$$L = n\frac{\lambda}{2}$$

نوجد الأطوال الموجية الرنينية لعدة موجات حيث :

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

$$n = 1 \qquad \lambda_1 = \frac{2(6)}{1} = 12\ m$$

$$n = 2 \qquad \lambda_2 = \frac{2(6)}{2} = 6\ m$$

$$n = 3 \qquad \lambda_3 = \frac{2(6)}{3} = 4\ m$$

$$\therefore\ \lambda_n = \frac{12}{n} \quad (m)$$

وباستخدام المعادلة :

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$f_1 = \frac{24}{12} = 2\ Hz$$

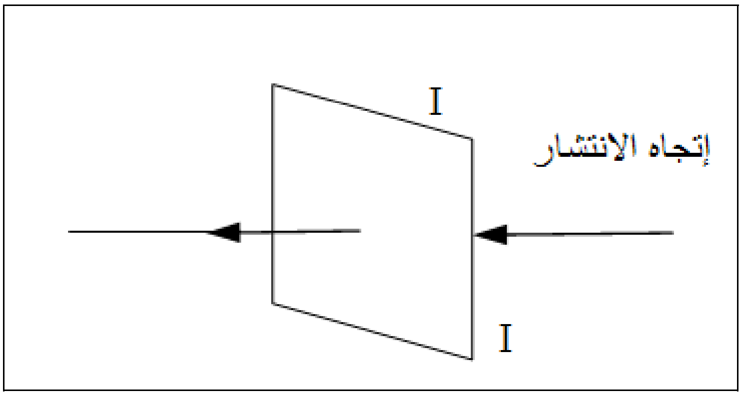
$$f_2 = \frac{24}{12} = 4\ Hz$$

$$f_3 = \frac{24}{4} = 6\ Hz$$

$$\therefore\ f_n = \frac{24}{12/_n} = 2n \quad (Hz)$$

(٦- ٦) شدة الصوت وطرق قياسها ـ وحدة الديسيبل :

لنفترض أن موجة صوتية تتحرك في اتجاه الانتشار كما في الشكل (٦- ١٤) وبمعرفة شدة الموجة بدلالة الطاقة التي تحملها هذه الموجة. ونوضح ذلك برسم مساحة عمودية على اتجاه انتشار الموجة وذلك لتعريف شدة الموجة على أنها الطاقة التي تحملها الموجة في الثانية عبر وحدة المساحات العمودية على اتجاه انتشار الموجة، وهو تعريف شدة الصوت.



الشكل (٦- ١٤) إتجاه إنتشار الموجة على وحدة المساحات

ويرمز لشدة الصوت بالرمز (I) وتكتب الصيغة الرياضية لإيجاد قيمة الشدة :

$$I = \frac{P}{A} \qquad (6-12)$$

حيث P : قدرة الصوت .

A : مساحة مقطع السطح المستقبل لموجة الصوت .

ووحدتها في النظام الدولي (واط/مترمربع)

$$1I = 1(\ W/m^2\ )$$

وللتعريف عن شدة الصوت عن طريق استجابة الأذن للأصوات نستخدم مقياس الديسيبل.

ويمكن للأذن أن تسمع أصواتاً تتراوح تردداتها بين 20 Hz و $20x10^3$ Hz شرط أن تقع شدتها بين 10^{-12} W/m^2 و 1 W/m^2 ،ويستخدم الحد الأدنى من الشدة ويرمز له (I_o) كأساس مقارنة الأصوات ببعضها البعض حيث نعرف مستوى الشدة بالعلاقة :

$$\beta = 10\log\left(\frac{I}{I_O}\right) \qquad (6-13)$$

والجدول (٦- ٢) يوضح مقياس الديسيبل لوحدة شدة الصوت ب(W/m^2)

شدة الصوت (W/m^2)	مستوى شدة الصوت (dB)
10^{-12}	0
10^{-11}	10
10^{-10}	20
10^{-9}	30
⋮	⋮
10^{-1}	110
1	120
10	130

الجدول (٦- ٢) قيم مستوى شدة الصوت بوحدة (dB)

المثال (٦- ٥) :

أوجد مستوى شدة الصوت بالديسيبل لموجة صوتية شدتها 10^{-5} W/m^2 ؟

الحل :

المعطيات $I = 10^{-5}\ W/m^2$

وحيث إن :

$I_o = 10^{-12}\ W/m^2$

وبالتعويض في القانون :

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_o}$$

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-5}}{10^{-12}}$$

$$\beta = 10 \log 10^7$$

$$\beta = 10(7)$$

$$\beta = 70 \quad dB$$

المثال (٦- ٦) :

يصرخ ولد مصدراً صوتاً بقدرة 10 mW يتوزع بانتظام على الشكل سطح نصف كرة أمامي، ماشدة الصوت الواصل لوالده الذي يقف على بعد ($5\ m$) ومامستوى شدة الصوت هناك ؟

الحل :

نحسب شدة الصوت بعد ($5\ m$) من المعادلة :

$$I = \frac{P}{A}$$

بملاحظة أن المساحة التي يغطيها هي نصف كرة فقط أي أن :

$$A = 2\pi r^2$$

$$A = 2\pi(5)^2 = 157\ \ m^2$$

وبذلك تكون الشدة :

$$I = \frac{P}{A}$$

$$I = \frac{1 \times 10^{-3}\ \ W}{157\ \ \ m^2} = 6.37 \times 10^{-6}\ \ \ W/m^2$$

$$\therefore I = 6.37\ \ \mu W/m^2$$

ولحساب مستوى الشدة نعوض في المعادلة :

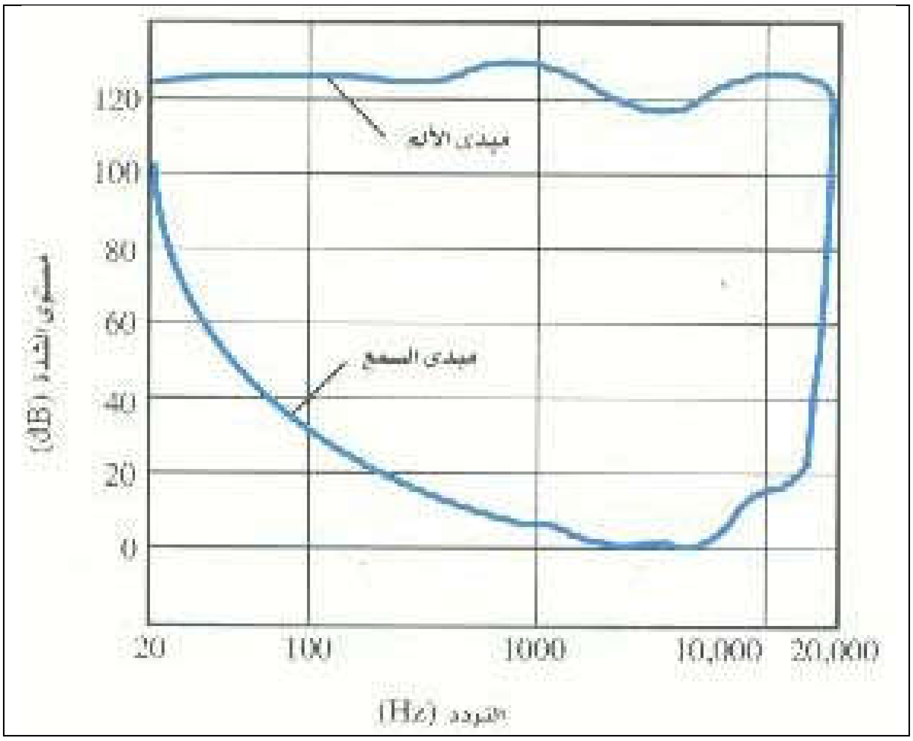
$$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_o}\right)$$

$$\beta = 10 \log\left(\frac{6.37 \times 10^{-6}}{10^{-12}}\right)$$

$$\beta = 68\ \ dB$$

يختلف البشر في قدرتهم على سماع الأصوات وتعتمد استجابة الأذن للصوت على تردده بالإضافة إلى شدتة وقد أثبتت الدراسات أن معظم الناس لا يستطيعون سماع الموجات الصوتية التي يزيد ترددها عن حوالي (20,000 Hz) وتسمى بالموجات فوق السمعية.

كما أن معظم الناس لا يستطيعون أن يسمعوا الأصوات التي يقل ترددها عن حوالي (20 Hz) ،وتصل حساسية الأذن إلى أقصى قيمة لها تقريباً عند (3000 Hz) ،أما عند الترددات التي تختلف عن هذه القيمة فيجب تعديل شدة الصوت حتى تتمكن الأذن من سماعه ويوضح ذلك الشكل (٦- ١٥) حيث يمثل المنحنى السفلي أقل مستوى شدة مسموع كدالة في التردد.



الشكل (٦- ١٥) مستوى سماع الأذن للأصوات التي تقع شدتها فوق المنحنى السفلي

فمثلاً يمكن للأذن العادية سماع صوت تردده (1000 Hz) عندما يكون مستوى شدتة حوالي (5 dB) على الأقل كما يمكن سماع صوت تردده (100 Hz) بشرط أن يكون مستوى شدته حوالي (30 dB) .

إذاً يمكن للأذن سماع الأصوات التي تقع تردداتها بين (20 Hz و 20,000 Hz) بشرط أن تكون شدتها كبيرة جداً .

ومن هذا نستطيع أن نقول أن التعرض لأصوات مستوى شدتها عالٍ حوالي (90 dB) لفترات طويلة يمكن أن يسبب فقداناً للسمع.

(٦- ٧) تأثير دوبلر Doppler effect

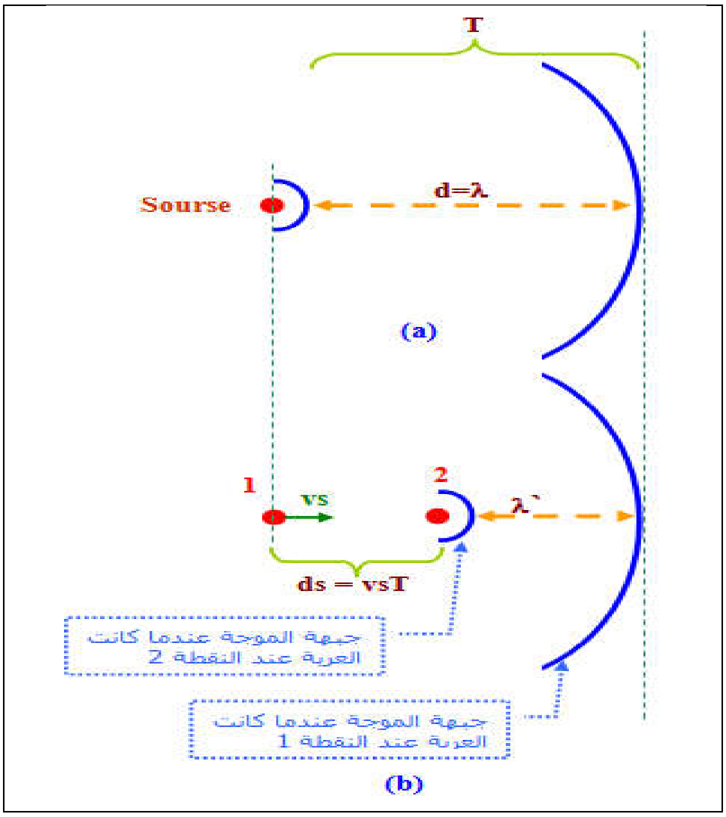
تأثير أو ظاهرة دوبلر هي تغير في التردد المقاس نتيجة الحركة النسبية بين المصدر والمراقب . وتعتمد سرعة الصوت على خصائص الوسط الذي ينتشر فيه بغض النظر عن طبيعة المصدر ونوعه، إلا أن حركة منبع الصوت أو المستمع تؤثر على مانسمعه بشكل واضح، وكل من استمع إلى صفير سيارة الأسعاف وهي مسرعة بالنسبة لنا ينتبه لتغير شدة صوتها عندما يقترب منها وعندما يبتعد عنها وهذا مايسمى بتأثير دوبلر.

ونستنتج من مثال السيارة أن عدد القمم الموجية التي تصل الى الأذن تكون أكبر إذا كانت السيارة تتحرك نحوك عن قيمتها إذا كانت السيارة تتحرك مبتعدة عنك حيث أن الموجات المنبعثة من السيارة (مصدر الصوت) المتحركة سوف تنضغط في حيّز أصغر وبذلك تكون عدد القمم الموجية التي تصل الى المستمع في الثانية أكبر وبالتالي فإن التردد يكون أكبر.

وبذلك تكون ظاهرة دوبلر تحدث عندما تكون هناك حركة نسبية بين مصدر الصوت sound source والمراقب observe ويمكن أن تكون الحركة النسبية هي حركة المصدر بينما المراقب ثابت أو أن يكون المراقب متحركاً والمصدر ثابت وفي كلتا الحالتين سوف نقوم بإشتقاق العلاقة الرياضية التي تربط بين تردد الصوت المعدّل نتيجة للسرعة النسبية وبين التردد عندما يكون كل من مصدر الصوت والمراقب ثابتين .

أولاً : المراقب ثابت والمصدر متحرك بسرعة v_s

سنقوم في البداية بالتعامل مع حالة المصدر مقترباً من المراقب، ولشرح فكرة الاشتقاق سنقوم بمقارنة حالة ثبات المراقب والمصدر الصوتي كما هو في الشكل (٦- ١٦ a) ومن ثم نفترض أن المصدر الصوتي يتحرك بسرعة v_s باتجاه المراقب كما في الشكل (٦- ١٦ b) .



الشكل (٦- ١٦) a) المصدر ثابت والمراقب ثابت.
b) المصدر متحرك والمراقب ثابت.

من الشكل (٦- ١٦ a) عند ثبات المراقب والمصدر الصوتي فإن جبهة الموجة الصوتية تصل إلى المراقب بتردد محدد هو التردد الأصلي للمصدر والذي يرمز له بالرمز (f) ويكون الزمن بين جبهتي موجتين متتاليتين هو الزمن الدوري (T) :

$$T = \frac{1}{f}$$

أما الشكل (٦- ١٦ b) عندما يتحرك المصدر بسرعة v_s مقترباً من المراقب فإن جبهة الموجة تصل إلى المراقب عندما تكون السيارة عند الموقع (1) وبعد زمن دوري (T) تصل جبهة الموجة الثانية للمراقب بينما تكون السيارة قد تحركت مسافة ds والتي تساوي حاصل ضرب سرعة السيارة (v_s) في الزمن الدوري (T) .

وبما أن الجبهه الأولى للموجه قطعت مسافه قدرها (d) حيث :

$$d = v\,T \qquad (6-14\,a)$$

حيث v : سرعة الصوت في الهواء وهي متساوية في الحالتين.

تكون العربة قد تحركت مسافة قدرها (ds) حيث :

$$ds = v_s T \qquad (6-14\,b)$$

حيث v_s : سرعة السيارة.

وعلية فإنه بمقارنة الطول الموجي في الشكل (٦- ١٦ a) و (٦- ١٦ b) نحصل على العلاقة التالية :

$$\lambda' = d - ds$$

$$\lambda' = \lambda - v_s T$$

وبالتعويض عن الزمن الدوري نحصل على :

$$\lambda' = \lambda - v_s\left(\frac{\lambda}{v}\right)$$

$$\lambda' = \lambda\left[1 - \frac{v_s}{v}\right] \qquad (6-15)$$

ويكون التغيير في الطول الموجي :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = -v_s\frac{\lambda}{v}$$

نستنتج من العلاقة أن التغير في الطول الموجي يتناسب طردياً مع سرعة المصدر (v_s) . ولإيجاد التغير في التردد نستخدم المعادلة :

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda\left[1 - \frac{v_s}{v}\right]}$$

$$f' = f\frac{1}{\left[1 - \frac{v_s}{v}\right]} \qquad (6-16)$$

وفي حالة المصدر مبتعداً عن المراقب تكون المعادلة :

$$f' = f\frac{1}{\left[1 + \frac{v_s}{v}\right]} \qquad (6-17)$$

تطبيق (٦- ١) :

إذا كان هناك مصدر يُطلق صوتاً تردده (*400 Hz*) في حالة السكون

أ- إذا تحرك المصدر نحو المراقب بسرعة (*30 m/sec*) فإن المراقب يسمع الصوت بتردد مقداره :

$$f' = 400\ Hz\frac{1}{\left[1 - \frac{30\ m/sec}{343\ m/sec}\right]}$$

$$f' = 438\ \ Hz$$

سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 20^{o} (v=343 m/sec)

ب- إذا تحرك المصدر مبتعداً عن المراقب بنفس السرعة فإن المراقب يسمع الصوت عند تردد مقداره :

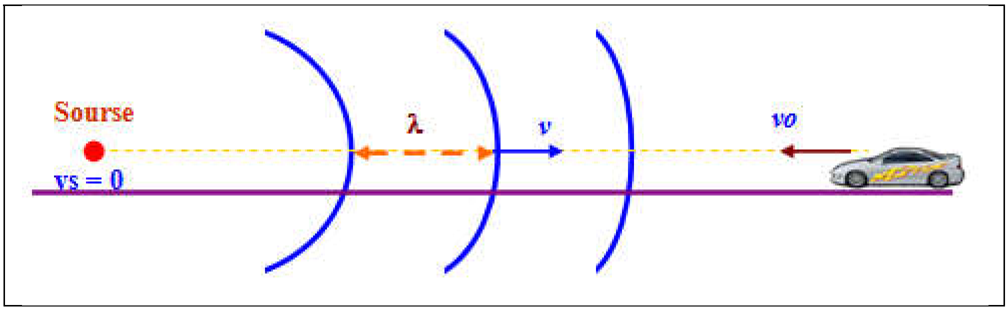
$$f' = 400\ Hz\frac{1}{\left[1 + \frac{30\ m/sec}{343\ m/sec}\right]}$$

$$f' = 368\ \ Hz$$

ماذا تلاحظ في كلتا الحالتين؟

ثانياً : المراقب متحرك بسرعة v_s والمصدر ثابت :

عنـدما يتحـرك المراقـب مقتربـاً أو مبتعـداً عـن المصـدر الصـوتي فـإن ظـاهرة دوبلـر تحـدث في مثـل هـذه الحالـة بـاختلاف المعالجـة الفيزيائيـة حيـث يكـون الطـول المـوجي للصـوت ثابتـاً سـواءً أكـان المراقـب مبتعـداً عـن المصـدر أم مقتربـاً منـه،ولكـن الـذي يـتغير هـو سـرعة الصـوت بالنسـبة للمراقب كما بالشكل(٦- ١٧).



الشكل (٦- ١٧) المصدر ثابت والمراقب متحرك

حيث تكون السرعة على النحو التالي :

عندما يكون المراقب مقترباً من المصدر $v' = v + v_o$

عندما يكون المراقب مبتعداً عن المصدر $v' = v - v_o$

حيث v_o : سرعة المراقب.

v : سرعة الصوت في الهواء.

وعليه يكون التردد في حالة المراقب مقترباً من المصدر :

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_o}{\lambda}$$

وبالتعويض عن الطول الموجي نحصل على :

$$f' = \frac{v + v_o}{v/f}$$

$$f' = f\left[1 + \frac{v_o}{v}\right] \qquad (6-18)$$

أما في حالة كون المراقب مبتعداً عن مصدر الصوت تصبح المعادلة :

$$f' = f\left[1 - \frac{v_o}{v}\right] \qquad (6-19)$$

ويمكن اختصار النتائج السابقة بكتابة التردد المسموع في الحالة العامة لحركة كل من المصدر والمراقب على النحو التالي :

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f \qquad (6-20)$$

حيث v_o , v_s : تحمل إشارة سالبة إذا كان المراقب أو المصدر يبتعد أحدهما عن الآخر .

v_o , v_s : تحمل إشارة موجبة إذا كان المراقب أو المصدر يقترب أحدهما من الآخر .

المثال (٦- ٧) :

مصدر ساكن يُصدر صوتاً تردده ($1000\ Hz$) باتجاه حاجز يقترب منه بسرعة ($20\ m/sec$) فينعكس عنه عائداً لمستمع يقف بجوار المصدر. ماالتردد الذي يسمعه المستمع إذا كانت سرعة الصوت في الهواء ($343\ m/sec$)؟

الحل :

يعتبر الحاجز بالنسبة للمصدر مستمعاً يقترب منه بسرعة ($20\ m/sec$) ،كما أنه يعتبر بالنسبة للمستمع (المراقب) منبعاً يقترب منه بنفس السرعة،لذا نطبق العلاقة :

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f$$

$$f' = \left(\frac{343 + 20}{343 - 20}\right) 1000$$

$$f' = 1123.84\ \ Hz$$

المثال (٦- ٨) :

باص يتحرك بسرعة ($30\ m/sec$) مقترباً من صفارة مصنع ترددها ($500\ Hz$) .

أ- ما تردد الصوت الذي يسمعه السائق ؟ علماً أن سرعة الصوت في الهواء ($343\ m/sec$)

ب- كرر المسألة في حالة غادر الباص المصنع .

الحل :

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f$$

$$f' = \left(\frac{343 + 30}{343 - 0}\right) 500 = 543.7\ \ Hz$$

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f$$

$$f' = \left(\frac{343 + (-30)}{343 - 0}\right) 500 = 456.3\ \ Hz$$

مسائل وتمارين الوحدة في السادسة

Questions and exercises the sixth unit

٦- ١ عرّف الموجة واذكر أنواع الحركة الموجية مع ذكر مثال لكل نوع .

٦- ٢ ماالفرق بين الموجات الطولية والموجات المستعرضة ؟

٦- ٣ أُرسم موجة جيبية موضحاً فيها الطول الموجي (λ) والزمن الدوري (T)

٦- ٤ تبلغ سرعة انتشار أمواج المدّ في المحيط حوالي 740 km/h وطولها 300 km . ماالزمن اللازم لهذه الموجة لتقطع 8000 km وماترددها؟

٦- ٥ ماطول موجة الأصوات التي يمكن للأذن البشرية سماعها في الهواء إذا كانت تستجيب للترددات التي تقع ضمن المجال من 20 Hz إلى 20,000 Hz ؟ كيف يتغير الطول في الماء ؟
(سرعة الصوت في الهواء 343 m/sec وفي الماء 1490 m/sec)

٦- ٦ ماسرعة انتشار أمواج عرضية في سلك فولاذ طوله 70 cm وكتلته 5 gm مشدود بقوة 500 N ؟

٦- ٧ ماسرعة إنتشار نبضة في سلك مطاطي طوله 10 m وكتلته 700 gm ومشدود بقوة 110 N ؟ وماالزمن اللازم لها لتنتقل من أوله إلى آخره ؟

٦- ٨ أوجد نتائج القيم التالية:

أ) مامستوى صوت شدته 10^{-10} W/m^2 و 10^{-12} W/m^2 ؟

ب) ماشدة صوت مستوى شدته 10 dB و 30 dB ؟

٦- ٩ تقترب سيارة من حائط بسرعة 17 m/sec مصدرة صوتاً تردده 200 Hz :

أ) ماطول الموجة أمام السيارة ؟

ب) ماالتردد المسموع عند الحائط ؟

جـ) ماتردد الصوت المنعكس عن الحائط الذي يسمعه السائق ؟

٦- ١٠ يتحرك منبع صوت بسرعة 80 m/sec مبتعداً عن مستمع مصدراً صوتاً تردده 200 Hz . ماطول الموجة بين المنبع والمستمع ؟ وماقيمة التردد المسموع ؟

٦- ١١ يقترب مراقب بسرعة 80 m/sec من مصدر ساكن يصدر صوتاً تردده 200 Hz . ماطول الموجة بينهما ؟ وماالتردد المسموع ؟

٦- ١٢ تصدر سفينه أمواجاً صوتية ترددها 40 MHz فتعكس عن غواصة تحتها مباشرة بعد زمن قدره 90 ms بتردد مقداره 39.958 MHz ،عند أي عمق تقع الغواصة إذا كانت سرعة الصوت في الماء 1.54 km/sec ؟